



Experimental investigation on self-healing performance of cementitious composite incorporating fly ash and ground granulated blast furnace slag

その他（別言語等）のタイトル	フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を混入したセメント系材料の自己修復性能に関する研究
著者	NA Seung-Hyun
学位名	博士（工学）
学位の種別	課程博士
報告番号	甲第345号
学位授与年月日	2013-09-26
URL	http://hdl.handle.net/10258/2662

氏名	ナ スンヒョン 羅 承 賢
学 位 論 文 題 目	Experimental investigation on self-healing performance of cementitious composite incorporating fly ash and ground granulated blast furnace slag (フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を混入し たセメント系材料の自己修復性能に関する研究)
論 文 審 査 委 員	主 査 教 授 濱 幸 雄 教 授 溝 口 光 男 准教授 菅 田 紀 之

論文内容の要旨

環境保護，財政面での制約等から建築ストックの有効かつ長期的な活用が求められ，今後新たに造られる建築物には総合的なコスト縮減や高い耐久性および信頼性の確保が求められている。

これまで，乾燥収縮や凍害等の劣化対策としてコンクリートの調合や強度を制御する技術が用いられてきたが，供用期間中に生じるマイクロクラックの影響により耐凍害性が著しく低下することが報告され，必ずしも十分な効果は得られていない。近年，コンクリートに生じた幅数マイクロの微細なひび割れの成長により劣化が促進されることが明らかとなり，これらの微細なひび割れを自己修復するコンクリートの開発が期待されている。これにより，総合的なコスト縮減と構造物の長寿命化，資源の有効利用を目指している。また，環境副産物であるフライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの自己修復性能評価は十分に検討されていない。さらに，その自己修復性能を定量的に評価する手段が確立されていない。

本研究ではフライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を用いたセメント系材料の自己修復コンクリートの開発およびその性能を評価する方法を確立することを目的とした。1章では自己修復効果に関するいくつかの既往の研究を示し，2章ではフライアッシュを用いたペーストやモルタルについて水和反応解析および自己修復性能の検討を行い，コンクリート内部で長期間，計画的に反応を起こす最適なフライアッシュ置換率を求めた。3章ではフライアッシュを用いた Non-AE および AE コンクリートの耐凍害性および自己修復効果の検証と AE コンクリートを対象としたひび割れ付与方法を検討した。その結果，フライアッシュを用いた Non-AE コンク

リートの場合、凍害劣化を抑制しにくく、十分な量の空気連行が必要であることがわかった。また、耐凍害性に優れたコンクリートでの自己修復効果評価のためのひび割れ付与方法として繰返し載荷法が適用可能であることを示した。4章では高炉スラグ微粉末の粉末度、置換率および置換方法を変化させたモルタルを対象とし、自己修復効果性能について検討を行い、高炉スラグ微粉末の置換率が多いほど粉末度が小さいほど、高い自己修復効果が期待できた。

5章ではフライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を混和した AE コンクリートを対象として、材齢1年までの修復効果の持続性を比較・検討することを目的として実験を行った。その結果、同一置換率および置換方法の場合、フライアッシュの方が高炉スラグ微粉末より、高い自己修復効果を発揮することがわかった。最終的に、自己修復効果を定量的に評価できる新たなモデルを提案した。

ABSTRACT

Due to the limitation of the protection and conservation of the environment and natural resources and high finance, long-term sustainable use of concrete is of importance issue in the concrete industry all over the world. However, the deterioration of concrete structure is inevitable when the material is exposed to extreme weather condition. Freeze-thaw durability is of great important under cold climates. When exposed to the freezing and thawing cyclic conditions, the lower frost resistance of concrete structure could be occurred to the ice expansion, accompanying damaged surface and micro-cracks, and connect to the deterioration of the concrete structure. Therefore, to solve this problem, it is necessary to fill the micro cracks to extend the service life of the concrete structures.

The main objective of current research is to investigate the effect of self-healing on damaged concrete incorporating fly ash and ground granulated blast furnace slag.

In chapter 2, the reaction rate and self-healing ability in fly ash blended cement mixtures that deal with reaction of fly ash paste, optimization replacement ratio of fly ash, variation of pore structure and deterioration degree in mixtures were investigated. The experimental results revealed that incorporating fly ash in cement paste would affect the hydration rate of fly ash and consumption of calcium hydroxide. Velocity of reaction rate and the optimization of fly ash replacement ratio to fill micro cracks in the concrete were suggested.

In chapter 3, the self-healing ability of fly ash blended concrete with or

without air entraining agent after deterioration that caused by frost and thaw cycling test was examined. Moreover, new damage technique to make micro crack within air entrained concrete sample was suggested by means of compression test. It was found that although fly ash had self-healing potential, air entrained agent addition in the fly ash concrete sample is advisable because of the poor frost resistance due to the less air content in fly ash blended concrete sample. In addition, it was also confirmed that the repeated cyclic loading technique is useful and efficient way in order to make the crack in the concrete in comparison to rapid freeze and thaw test, and this method will be able to apply AE-concrete which has a high frost resistance.

In chapter 4, the self-healing ability of ground granulated blast furnace slag blended mortar with different replacement ratios and finenesses was explored. It was confirmed that low fineness, high replacement ratio of ground granulated blast furnace slag for sand exhibited higher self healing ability with respect to the compressive, bending strength and accelerated carbonation test. In chapter 5, comparison of self-healing ability of concrete mixture incorporating fly ash and ground granulated blast furnace slag blended was performed in order to design more durable self-healing concrete. It was found that self-healing efficiency can be decreased by increasing the curing age and fly ash blended concrete sample has a higher self-healing ability in comparison to ground granulated blast furnace slag blended concrete. In addition, new durability factor by taking into the consideration of the self-healing effect equation was suggested.

論文審査結果の要旨

環境保護，財政面での制約等から建築ストックの有効かつ長期的な活用が求められ，今後新たに作られる建築物には総合的なコスト縮減や高い耐久性および信頼性の確保が求められている。これまでは，乾燥収縮や凍害等の劣化対策としてコンクリートの調合や強度を制御する技術が用いられてきたが，必ずしも十分な効果は得られていない。

本研究では，産業副産物であるフライアッシュのポゾラン反応性および高炉スラグ微粉末の潜在水硬性に着目し，これらを適切に計画的にコンクリートに混合することにより，凍結融解作用や乾燥収縮によって生じた幅数 μm の微細なひび割れをコンクリート自らが閉塞する能力を持つ自己修復コンクリートを開発することと自己修復性能の評価手法を確立することを目的としている。

まず，ポゾラン反応性を持つフライアッシュの反応速度式を提案し，フライアッ

シュの反応による体積増分とひび割れ幅との関係から適切なフライアッシュ混入率を決定し、フライアッシュの種類、置換率を変化させたモルタル実験によりフライアッシュによる自己修復効果を確認し、フライアッシュを用いたコンクリート実験により耐凍害性、劣化程度、修復養生条件、修復効果の持続性、ひび割れ付与方法が自己修復効果に及ぼす影響について検討している。次に、潜在水硬性を持つ高炉スラグ微粉末を用いたモルタルについて、高炉スラグ微粉末の粉末度、置換率が自己修復効果に及ぼす影響を検討している。

これらの結果を踏まえて、自己修復性能評価のために、繰返し載荷方法によるひび割れ付与方法と自己修復効果を考慮した耐久性評価指標を提案し、フライアッシュと高炉スラグ微粉末の自己修復効果を比較し、フライアッシュの方が高炉スラグ微粉末よりも自己修復効果が高いこと、さらにはフライアッシュと高炉スラグ微粉末を細骨材に対して 15%置換した三成分系自己修復コンクリートが優れた自己修復性能を持つことを明らかにしている。

以上の成果は、コンクリート構造物の長寿命化、資源の有効利用等に総合的なコスト縮減に寄与するものである。よって、著者は博士（工学）の学位を授与される資格があるものと認められる。